

京都大学防災研究所 正 足立紀尚

鉄道建設公団 正 高瀬昭雄

1. はじめに

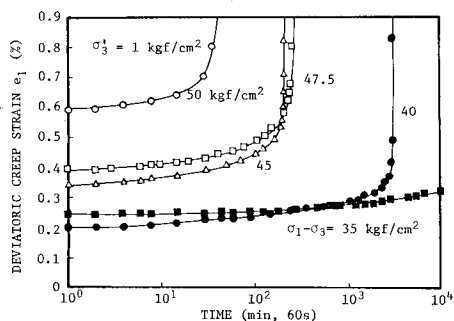
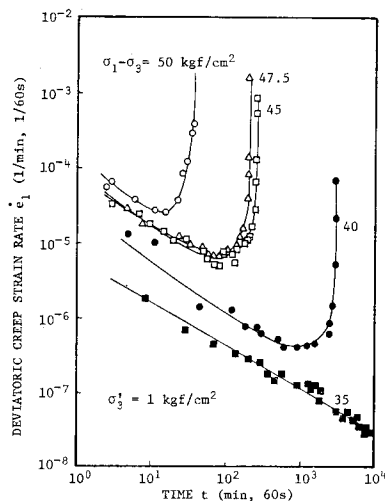
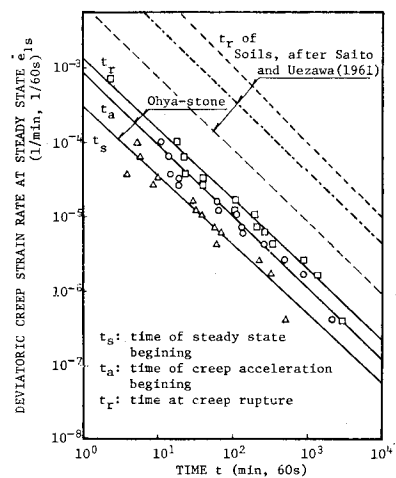
大谷石を理想的堆積軟岩として用いた一連の研究により、軟岩は他の地盤材料と同様に顕著な時間依存性挙動を示すことを明らかにした。例えば載荷速さを変えると強度が変わり、標準試験による強度の割割、載荷を保持するとクリープ破壊を生ずることは周知の事実としても、解明すべき課題である。このような時間が強度に影響するとなると、軟岩を対象とする構造物の設計にあいて長期強度を的確に把握する必要がある。本報告はクリープ試験による堆積軟岩の長期強度の推定方法を論じるものである。

2. クリープ試験

実験は飽和した大谷石を用い、所定の側圧で24時間等方圧密した後、軸差応力を一度に載荷する方法で行なう。なお、以下示す結果は排水条件下で行ったものである。図-1は側圧 1 kgf/cm^2 に対する偏差ひずり ϵ_1 の時間関係をクリープ応力 $\sigma_1 - \sigma_3$ をパラメータとして示したものである。図から、クリープ応力の大小がクリープ変形挙動に影響を与え、 10^2 分の時間内に限ると 40 kgf/cm^2 以上の軸差応力下では最終的にクリープ破壊に至り、すなわち、クリープ破壊が生ずるまでの時間は応力の増大とともに減少することがわかる。この過程をクリープひずり ϵ_1 と時間の関係として両対数紙上に求めたものが図-2である。偏差ひずり ϵ_1 は時間とともに直線的に減少するが、破壊に至るものはやがて定常クリープ状態を経て加速され破壊に達する。クリープ破壊に至るまでに要する時間を知らずしては有藤⁽¹⁾による地すべりが発生する時刻を予測して列車事故を未然に防いだという先駆的の仕事においてサシ小⁽²⁾のように定常クリープひずり $\dot{\epsilon}_s$ (図-2の凸曲線の最小クリープ速さの値)と破壊に至る時間 t_r との関係があることが知られている。大谷石に対する $\dot{\epsilon}_s$ と t_r の関係を図-3に示すが、側圧の大小にかかわらず $\dot{\epsilon}_s$ と t_r には逆比例関係があらわれ、次式で表わされる。

$$\dot{\epsilon}_s \cdot t_r = \text{一定} = 1.32 \times 10^{-3} \quad (1)$$

ここで図-2にも明らかにように定常クリープひずり $\dot{\epsilon}_s$ は応力状態によって異なる値をとる。図-4は定常クリープひずり $\dot{\epsilon}_s$ とクリープ応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係を示すものである。図より、軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と偏差ひずり $\dot{\epsilon}_s$ の対数が比例す

図-1. 偏差ひずり ϵ_1 の時間関係図-2. 偏差ひずり $\dot{\epsilon}_s$ の時間関係図-3. 定常クリープひずり $\dot{\epsilon}_s$ と破壊時間関係

るという関係が求まり次式のように表わされる。

$$\log \dot{\epsilon}_s = A(\sigma_1 - \sigma_3) + B, \quad (2)$$

ここに A, B は材料定数であって、 B は側圧が増大とともに大なる値をとる。(2)式によって所定側圧下のクリープ応力に対応する定常クリープ伸び速度を求めるときがでるわけである。

3. 軟岩の長期強度の推定方法

以上のクリープ試験結果に基づき軟岩の長期強度の推定方法について考察しよう。図4に示すように定常クリープ伸び速度とクリープ応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ が半対数図上で直線関係にあることがわかったが、その関係は側圧に影響される。そこで定常クリープ伸び速度に対応する応力状態が存在すると考え、 $\dot{\epsilon}_s = 10^{-8} (1/\text{min})$ に対する応力状態を図4から求め、平均有効応力 σ_m と軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係として図5に示した。その応力状態は次のべき関係で表わされる。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \alpha \cdot \sigma_m^\beta, \quad \alpha = 8.00, \quad \beta = 0.58 \quad (3)$$

図6は定常クリープ伸び速度 $\dot{\epsilon}_s$ と式(3)より求まる規準化した応力状態 $(\sigma_1 - \sigma_3) / \alpha \cdot \sigma_m^\beta$ の関係を求めたものである。多少のばらつきはあるが、直線関係が成立するものとして次式が得られる。

$$\log \dot{\epsilon}_s = A_2 (\sigma_1 - \sigma_3) / \alpha \cdot \sigma_m^\beta + B_2, \quad A_2 = 19.3, \quad B_2 = -27.3 \quad (4)$$

式(3)は軟岩の破壊規準として提唱している関係であるから、式(4)により定常クリープ伸び速度を与えればその値に相当する応力状態、すなわち強度が求まるとになる。そこで定常クリープ速度 $\dot{\epsilon}_s$ とクリープ破壊時間 t_b の間には式(1)の関係がある。したがって式(1)、(4)で $\dot{\epsilon}_s$ を消去するとクリープ破壊に至る時間 t_b とそれに対応する応力状態の関係が求まる。

$$\log(C/t_b) = A_2 (\sigma_1 - \sigma_3) / \alpha \cdot \sigma_m^\beta + B_2 \quad (5)$$

式(5)の意味するところは、例えば $t_b = 100$ 年とすると100年後にクリープ破壊に至る応力状態 $(\sigma_1 - \sigma_3) / \alpha \cdot \sigma_m^\beta$ が計算され、いわゆる100年強度を推定できるというものである。図7、図8は式(5)を適用して推定した大谷石の時間に依存する強度の変化を示している。図中の実線が残留強度を表している。

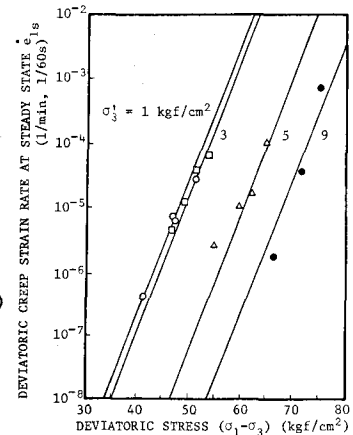


図4 $\dot{\epsilon}_s \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$ 関係

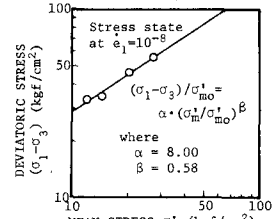


図5 $\dot{\epsilon}_s = 10^{-8}$ に対する応力状態

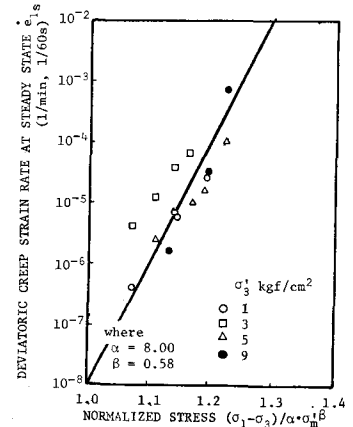


図6 $\dot{\epsilon}_s \sim (\sigma_1 - \sigma_3) / \alpha \cdot \sigma_m^\beta$ 関係

参考文献

- 1) 赤井, 他, 土木学会論文報告集, No. 282, 1979, pp. 75~87.
- 2) 青藤, 土と基礎, Vol. 20 No. 2, 1972, pp. 13~19
- 3) 足立, 小川, 土木学会論文報告集, No. 295, 1980, pp. 51~63

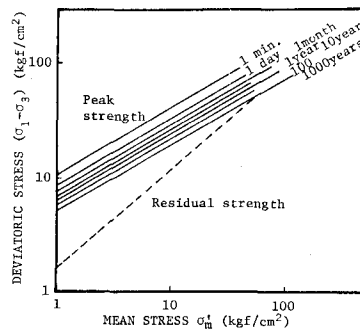


図7. 軟岩の長期強度 (対数表示)

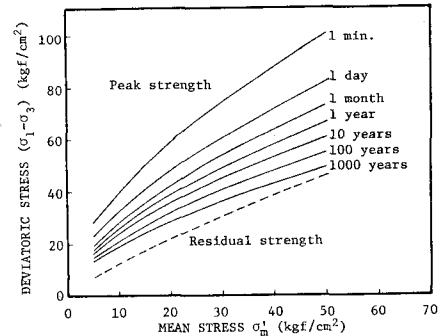


図8. 軟岩の長期強度